

การศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลัง

*รังสรรค์ กุฎสำโรง¹, วินัย กล้าจริง¹

¹ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10520

ผู้เขียนติดต่อ: รังสรรค์ กุฎสำโรง E-mail: koodsamrong@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลังมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงเฉือนของลำต้นมันสำปะหลัง ขณะทำการสับย่อยเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางในการออกแบบเครื่องสับย่อยลำต้นมันสำปะหลัง ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดสอบกับลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงและพันธุ์ระยอง 81 ด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติแรงกด (Universal Testing Machine, UTM) ขนาด 50 kN ที่มีมุมคมของใบมีดตัดที่แตกต่างกันคือ 30, 45 และ 60 องศา ใช้อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดที่ 20, 40, 60 และ 100 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อหาแรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุดและพลังงานตัดจำเพาะ ผลการทดสอบพบว่า ค่าแรงตัดเฉือนของใบมีดที่ทำมุม 30 องศา ในทุกอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด จะใช้แรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุดและพลังงานตัดจำเพาะ น้อยกว่าใบมีดที่ทำมุม 45 และ 60 องศา และยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดในทุกมุมใบมีดที่ทำการทดสอบจะมีแนวโน้มของค่าแรงตัดเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุดและพลังงานตัดจำเพาะที่ลดลง ซึ่งแรงตัดเฉือนของกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบข้างต้นที่มีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.01$) นอกจากนั้นยังพบว่า เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์มีขนาดเพิ่มขึ้น ค่าแรงตัดเฉือนของต้นมันสำปะหลังที่ทำการทดสอบมีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมันสำปะหลัง จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยด้วยเทคนิคการตัดเฉือน ทั้งนี้ในการออกแบบส่วนประกอบอื่นๆ ยังคงจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลด้านอื่นๆมาประกอบในการออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยลำต้นมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป

คำสำคัญ: ต้นมันสำปะหลัง; แรงตัดเฉือนสูงสุด; ความเค้นเฉือนสูงสุด; พลังงานตัดจำเพาะ

1. บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกมากกว่า 8.14 ล้านไร่ ให้ผลผลิตรวม 29.85 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 3.48 ตันต่อไร่[1] มันสำปะหลังสามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกๆส่วน ตั้งแต่ส่วนยอดจนถึงส่วนราก และยังสามารถนำหัวมันสดไปแปรรูปเป็นเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของสินค้า เช่น แป้งมันสำปะหลัง แอลกอฮอล์ มันอัดเม็ด เป็นต้น ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ที่ปลูกมันสำปะหลังทำการเก็บเกี่ยวปีละครั้ง โดยเก็บเกี่ยวเฉพาะส่วนที่เป็นหัวมันสดและทิ้งต้นมันสำปะหลังจำนวนมากไว้ในแปลงปลูก ต้นมันสำปะหลังบางส่วนจะถูกนำไปเป็นท่อนพันธุ์ สำหรับเพาะปลูกในฤดูกาลต่อไป แต่การไถเพาะปลูกมันสำปะหลังนั้นจะใช้ลำต้นมันสำปะหลังเพียง 10

เปอร์เซ็นต์ ของต้นมันสำปะหลังทั้งหมด จึงทำให้ต้นมันสำปะหลังที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวมีปริมาณมากถึง 3 ตันต่อไร่ [2] นอกจากนี้ต้นและใบมันสำปะหลังสดโดยทั่วไปจะมีความชื้นอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ จะมีโยนาไนต์ในระดับที่สูง ไม่ควรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้ง โดยการผึ่งแดด จะมีคุณค่าทางโภชนาการซึ่งประกอบไปด้วย โปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 21 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.99 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.73 เปอร์เซ็นต์ [3] นับเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีเส้นใยอาหารค่อนข้างสูง มีคุณค่าทางอาหารในระดับที่ดี

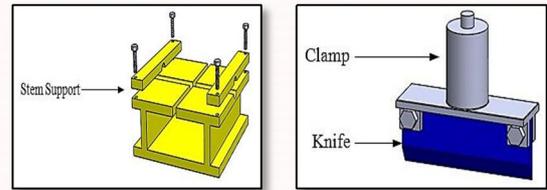
ปัจจุบัน เกษตรกรจะใช้เครื่องตัดย่อยไม้หรือเครื่องตัดย่อยต้นข้าวโพดมาทำการตัดย่อยต้นมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งหลังจากการตัดย่อยพบว่าขนาดของ

ต้นมันสำปะหลังยังมีขนาดที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ อีกทั้งยังไม่พบเครื่องมือในการลดขนาดที่เหมาะสมกับงานดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมกับชนิดพืชนั้นๆ [4] ในการออกแบบเครื่องสับย่อยนั้นจะต้องรู้ค่าพื้นฐานต่างๆ เช่น แรงเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะตลอดจนการเลือกชนิดของใบมีดของเครื่องสับย่อย ซึ่งจะสัมพันธ์กับชนิดของวัสดุ ขนาด อายุ ความชื้น รวมถึงโครงสร้างของเซลล์ ภายในวัสดุ [5] ด้วยหลักการพื้นฐานในการตัดต้นพืชเมื่อใบมีดเคลื่อนที่ลงอย่างต่อเนื่องเมื่อไปสัมผัสกับเนื้อวัสดุจะทำให้เกิดค่าความเค้นภายในเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดจุดแตกหัก (Failure point) ซึ่งวัสดุบางชนิดจะเกิดการแตกหักเพียงครั้งเดียวในขณะที่วัสดุชนิดอื่นๆ อาจเกิดจุดแตกหักขึ้นหนึ่งจุดก่อนและก็จะมีความเค้นภายในค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนเกิดจุดแตกหักอีกครั้งเมื่อใบมีดตัดผ่านเนื้อวัสดุ ทั้งนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า พฤติกรรมในการตัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการตัดย่อยด้วย [6] การวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นขณะตัดเฉือนและหาค่าตัวแปรซึ่งประกอบด้วยแรงเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะ ซึ่งเกิดจากการทดลองตัดส่วนโคนของลำต้นมันสำปะหลังด้วยใบมีดตัดที่มีมุมคมของใบมีดและอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดที่ต่างกัน โดยใช้เครื่องวัดแรงกระทำต่อวัสดุแบบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine: UTM) ซึ่งจะทำให้ทราบค่าตัวแปรข้างต้นที่จำเป็นต่อออกแบบเครื่องสับย่อยซึ่งจะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครื่องสับย่อยต้นมันสำปะหลังที่จะดำเนินการสร้างต่อไปในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการ

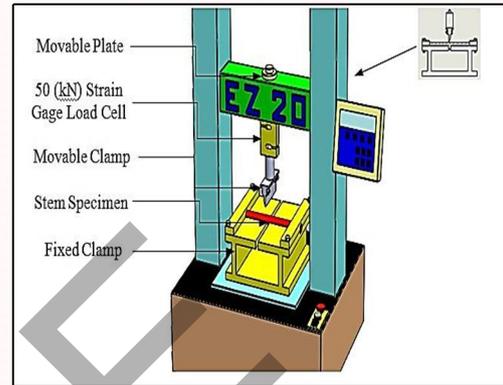
2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine: UTM) ขนาดแรงสูงสุด 50 kN ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1
2. ใบมีดขนาด 50 mm x 125 mm x 6 mm (กว้าง x ยาว x หนา) จำนวน 3 ใบมีด มีมุมคม (knife bevel angle) แต่ละใบคือ 30, 45 และ 60 องศา ตามลำดับ
3. ลำต้นมันสำปะหลังที่ใช้ทำการทดสอบ คือ พันธุ์ระยอง 81 และพันธุ์ห้วยบง โดยมีสมบัติในตารางที่ 1



ก) แท่นรอง และจับยึดท่อนต้นมันสำปะหลัง

(ข) ใบมีด



(ค) เครื่องวัดแรงกด

รูปที่ 1 เครื่องวัดแรงกดเอนกประสงค์และการติดตั้งใบมีด (Universal Testing Machine: UTM)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของต้นมันสำปะหลังในการทดสอบ

N	ค่าเฉลี่ยสมบัติทางกายภาพ	ระยอง 81	ห้วยบง
1.	อายุ (เดือน)	10	10
2.	ระยะเวลาเก็บรักษาก่อนการทดสอบ (วัน)	5	5
3.	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	23.63±4.12	25.75±4.05
4.	ความสูงของลำต้น (มม.)	1691.14±160.25	1488.86±219.66
5.	ความโค้งของลำต้น (มม.)	111.89±30.92	90.8±39.16
6.	น้ำหนักของลำต้น (กรัม)	378.57±107.27	248±82.99
7.	ความชื้น (% w.b.)	64.80±82.99	68.40±1.81
8.	น้ำหนักของลำต้นต่อความยาว	2.41±0.61	2.83±0.67

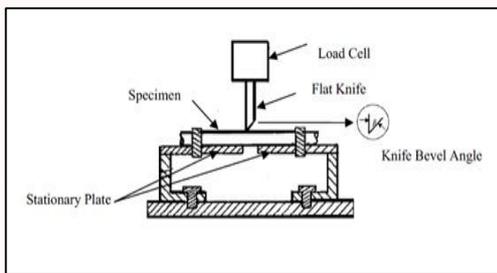
* ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* เก็บข้อมูลในแปลงทดสอบจังหวัดชลบุรี เมื่อวันที่ 5 ก.พ. 2556

2.2 วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างและการติดตั้งอุปกรณ์ โดยนำต้นมันสำปะหลังจากแปลงปลูกของเกษตรกรในเขตพื้นที่ อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี ที่มีอายุ 10 เดือน มาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ ณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางเครื่องจักรกลเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี ลำต้นมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดสอบ

จะถูกตัดจากส่วนโคนของลำต้นให้มีความยาว 117.8 mm (7 in) จากนั้นทำการติดตั้งใบมีดและยึดท่อน้ำมันสำปะหลังที่ตัดไว้เข้ากับแท่นจับยึดท่อน้ำมันสำปะหลังของเครื่องวัดแรงกดวัสดุแบบเอนกประสงค์ ตามรูปที่ 2 ดำเนินการทดสอบตัดท่อน้ำมันสำปะหลังด้วยใบมีดที่มีมุมคมของตัดที่แตกต่างกัน คือ 30, 45 และ 60 องศา กดลงในแนวตั้งฉากทำมุม 90 องศา กับแนวอนของท่อน้ำมันสำปะหลัง ซึ่งในแต่ละชนิดของมุมคมในการตัดของใบมีดจะใช้อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 20, 40, 60 และ 100 mm/min อย่างละ 35 ซ้ำ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลและนำไปประมวลผล ตามลำดับ



รูปที่ 2 ลักษณะการติดตั้งการวัดแรงเฉือนลำต้นน้ำมันสำปะหลังโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine: UTM ([4], [7])

2. การหาความเค้นเฉือน โดยนำค่าแรงเฉือนสูงสุด (Peak Load) [4,7 และ 8] ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะที่กดผ่านลำต้นน้ำมันสำปะหลัง (Force displacement) ทหารด้วยพื้นที่ หน้าตัดของลำต้นน้ำมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\sigma_s = \frac{F_{max}}{A} \quad \dots(1)$$

เมื่อ σ_s = ความเค้นเฉือน, Pa

F_{max} = แรงเฉือนสูงสุด, N

A = พื้นที่หน้าตัด, m^2

3. การหาพลังงานตัดจำเพาะ [7] หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือนกับระยะที่ใบมีดกดผ่านลำต้นน้ำมันสำปะหลัง (Force-displacement) ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$E_{ss} = \frac{1}{A} \int F dx = n \times \frac{f}{A} \quad \dots(2)$$

เมื่อ E_{ss} = พลังงานตัดจำเพาะ, mJ/mm^2

A = พื้นที่หน้าตัดของลำต้น, m^2

F = แรงเฉือน, N

x = ระยะการเคลื่อนที่ผ่านลำต้น, mm

n = จำนวนหน่วยพื้นที่ใต้กราฟ ของกราฟแรง

เฉือนกับระยะที่ใบมีดเคลื่อนที่ผ่านลำต้นขณะทดลอง ของเครื่องทดสอบแรงกด (UTM)

f = ค่าของตัวคูณหน่วยพื้นที่ (the scale factor of unit area)

4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของการตัดด้วยวิธีการ Multiple linear regressions สามารถเขียนความสัมพันธ์แสดงอยู่ในรูปสมการดังนี้ [4]

$$Y = \alpha + \beta_i x_i + e \quad \dots(3)$$

เมื่อ α = ส่วนตัดแกน Y (intercept) หรือค่าของ Y เมื่อ x_i เท่ากับศูนย์

β_i = ค่าความชัน (slope) ของเส้นตรง แสดงอัตรา

การเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ x_i เปลี่ยนไป 1 หน่วย

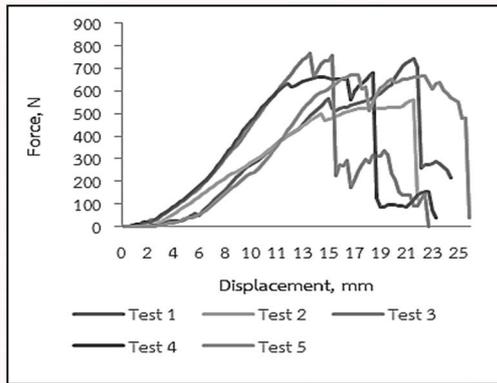
e = ความคลาดเคลื่อนหรือค่าความแตกต่างของค่า Y และค่า Y บนเส้นถดถอย

i = ตัวแปรอิสระตัวที่ 1, 2, ..., n

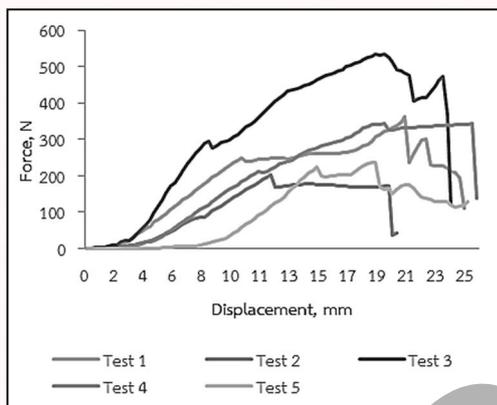
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 พฤติกรรมของ Force-displacement ที่ได้จากการตัดต้นน้ำมันสำปะหลัง

รูปที่ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิดขึ้นในขณะใบมีดเคลื่อนที่ผ่านลำต้นน้ำมันสำปะหลัง (force-displacement) ของทั้งสองสายพันธุ์ จะเห็นได้ว่า มีลักษณะและรูปร่างของกราฟที่คล้ายกันแต่แตกต่างกันที่ระดับของแรงเฉือน โดยแรงเฉือนสูงสุดของลำต้นน้ำมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงจะมีค่ามากกว่าแรงเฉือนของพันธุ์ระยอง 81 ประมาณสองเท่า โดยลักษณะของกราฟทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน คือจะมีพฤติกรรมผสมระหว่างวัสดุแบบมีเส้นใย (fibrous materials) และวัสดุแบบไม่มีเส้นใย (non-fibrous materials) ลักษณะของกราฟจะเกิดจุดสูงสุด (peak point) เพียงจุดเดียวเหมือนกับวัสดุที่ไม่มีเส้นใยแต่หลังจากนั้นแทนที่แรงจะตกลงทันที แรงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเหมือนวัสดุที่มีเส้นใย แต่บางครั้งไม่เกิดจุดสูงสุดที่ชัดเจนเหมือนกับวัสดุเส้นใยหรืออาจจะเรียกได้ว่า เป็นวัสดุกึ่งเส้นใย (semi-fibrous materials) ซึ่งลักษณะเช่นนี้สามารถพบได้กับพืชที่มีท่อน้ำลำเลียงขนาดใหญ่[6]



(ก) พันธ์หัวยวบง



(ข) พันธ์ระยะยง 81

รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะทางของใบมีด (force-displacement) ของมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวบงและระยะยง 81 ในแต่ละชุดการทดสอบ จำนวน 5 ชุดการทดสอบ

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด

พันธุ์มันสำปะหลัง

จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดเฉลี่ยที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวบงและ พันธุ์ระยะยง 81 พบว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวบงที่มุมคมใบมีด 30, 45 และ 60 องศา ความเร็วในการตัดคงที่ที่ 20 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ระยะยง 81 ในทุกๆ มุมคมของใบมีดดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 และพบว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวบงที่มุมคมของใบมีดคงที่ที่ 30 องศา ความเร็วในการตัดเปลี่ยนแปลงจาก 20-100 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ระยะยง 81 ในทุกๆ ความเร็ว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างภายในของมันสำปะหลัง พันธุ์หัวยวบงมีความแข็งแรงกว่ามันสำปะหลังพันธุ์ระยะยง 81

ตารางที่ 2 ผลของค่าเฉลี่ยแรงเฉือนสูงสุด (average max cutting force, kN) เมื่อความเร็วในการตัดคงที่ (speed of loading rate) และมุมคมใบมีดมีการเปลี่ยนแปลง (knife bevel angle)

อัตราการเคลื่อนที่	พันธุ์หัวยวบง ($\phi=25.75\pm 4.05$ mm)			พันธุ์ระยะยง-81 ($\phi=23.63\pm 4.12$ mm)		
	มุมคมตัดของใบมีด			มุมคมตัดของใบมีด		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°
20 mm/min	1.51	1.60	2.02	0.76	0.84	0.93
SD	0.30	0.28	0.49	0.19	0.19	0.22

n=35

ตารางที่ 3 ผลของค่าเฉลี่ยแรงเฉือนสูงสุด (average max cutting force, kN) เมื่อมุมคมใบมีดคงที่ (knife bevel angle) และความเร็วในการตัดเปลี่ยนแปลง (speed of loading rate)

มุมใบมีด	พันธุ์หัวยวบง ($\phi=25.75\pm 4.05$ mm)				พันธุ์ระยะยง-81 ($\phi=23.63\pm 4.12$ mm)			
	อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด (mm/min)				อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด (mm/min)			
	20	40	60	100	20	40	60	100
30°	1.51	1.45	1.35	1.25	0.76	0.75	0.71	0.68
SD	0.30	0.32	0.29	0.32	0.19	0.17	0.21	0.20

n=35

มุมคมของใบมีด

จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดเฉลี่ยที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์หัวยวบงและระยะยง81 พบว่าแรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดของมุมคมของใบมีดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงเฉือนสูงสุดระหว่างมุมคมของใบมีดที่ 30, 45 และ 60 องศา ในความเร็วในการตัดเท่ากันที่ 20 mm/min พบว่าแรงเฉือนสูงสุดเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบ Exponential นอกจากนี้การตัดลำต้นมันสำปะหลัง โดยใช้มุมคมของใบมีดที่ 30 องศา แรงเฉือนสูงสุดในการตัดจะมีค่าน้อยที่สุดทั้งสองสายพันธุ์ โดยจะมีค่าน้อยกว่ามุมคมใบมีดอื่นประมาณ 0.5-1 เท่า

ความเร็วในการตัด

จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดเฉลี่ยที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพบว่าแรงเฉือนสูงสุดจะ แปรผกผันกับความเร็วในการตัด โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้นจาก 20, 40, 60 และ 100 mm/min ที่มุมคมของใบมีดตัด 30 องศา ค่าแรงเฉือนสูงสุดจะมีค่าลดลงแบบ Exponential และแรงเฉือนสูงสุด ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์ที่ความเร็ว 100 mm/min มีค่า

น้อยที่สุดและมีแนวโน้มลดลงอีก หากความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้น

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเค้นเฉือนสูงสุด

พันธุ์มันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์หาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของการตัดลำต้นมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์ โดยใช้สมการที่ (1) พบว่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง ที่มีมุมคมใบมีด 30, 45 และ 60 องศา ความเร็วในการตัดคงที่ที่ 20 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ระยอง 81 ในทุกๆ มุมคมของใบมีดดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 ในทำนองเดียวกันพบว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงที่มีมุมคมของใบมีดคงที่ที่ 30 องศา ความเร็วในการตัดเปลี่ยนแปลงจาก 20-100 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ระยอง 81 ในทุกๆ ความเร็ว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

มุมคมของใบมีด

จากการทดสอบหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์พบว่า ความเค้นเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับมุมคมของใบมีดที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าการตัดที่ใช้มุมคมของใบมีดที่น้อยกว่าจะทำให้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดน้อยลงตามไปด้วย ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่ความเร็วในการตัดคงที่ที่ 20 mm/min ในการตัดด้วยมุมคมใบมีดที่ 30, 45 และ 60 องศา ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 โดยการเพิ่มขึ้นของความเค้นเฉือนสูงสุดเป็นการเพิ่มขึ้นแบบ Exponential ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของความเค้นเฉือนสูงสุดก็ตรงตามพฤติกรรมของแรงที่ใช้ในการตัด

ตารางที่ 4 ผลของค่าเฉลี่ยความเค้นเฉือนสูงสุด (average max shear strength, MPa) เมื่อความเร็วในการตัดคงที่ (speed of loading rate) และมุมคมใบมีดมีการเปลี่ยนแปลง (knife bevel angle)

อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด	ห้วยบง ($\phi=25.75\pm 4.05$ mm)			ระยอง-81 ($\phi=23.63\pm 4.12$ mm)		
	มุมคมตัดของใบมีด			มุมคมตัดของใบมีด		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°
20mm/min	5.51	5.58	7.36	3.06	3.32	3.68
SD	1.00	1.02	1.77	0.71	0.70	0.88

n=35

ตารางที่ 5 ผลของค่าเฉลี่ยความเค้นเฉือนสูงสุด (average max shear strength, MPa) เมื่อมุมคมใบมีดคงที่ (knife bevel angle) และความเร็วในการตัดเปลี่ยนแปลง (speed of loading rate)

มุมใบมีด	ห้วยบง ($\phi=25.75\pm 4.05$)				ระยอง-81 ($\phi=23.63\pm 4.12$)			
	อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด (mm/min)				อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด (mm/min)			
	20	40	60	100	20	40	60	100
30°	5.51	5.28	4.95	4.57	3.06	3.04	2.97	2.68
SD	1.10	1.19	1.06	1.15	0.71	0.67	0.84	0.78

n=35

ความเร็วในการตัด

ในทำนองเดียวกันจากการทดสอบหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์จะแปรผกผันกับความเร็วที่ใช้ในการตัด โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้นจาก 20, 40, 60 และ 100 mm/min ที่มีมุมคมของใบมีดตัด 30 องศา ค่าแรงเฉือนสูงสุดจะมีค่าลดลงโดยมีค่าลดลงประมาณ 1-2 เท่า

3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานตัดจำเพาะ

พันธุ์มันสำปะหลัง

เมื่อพิจารณาพลังงานตัดจำเพาะสูงสุดโดยการคำนวณจากสมการที่ (2) ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์พบว่า พลังงานตัดจำเพาะที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง ที่มีมุมคมของใบมีด 30, 45 และ 60 องศา ความเร็วในการตัดคงที่ที่ 20 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ระยอง 81 ในทุกๆ มุมคมของใบมีด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6 นอกจากนี้ยังพบว่าพลังงานตัดจำเพาะจะแปรผกผันกับความเร็วที่เพิ่มขึ้นดังแสดงไว้ในตารางที่ 7 ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัด

มุมคมของใบมีด

จากการทดสอบหาค่าพลังงานตัดจำเพาะสูงสุดที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังทั้งสองสายพันธุ์พบว่า ค่าพลังงานตัดจำเพาะสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมุมคมใบมีดเพิ่มขึ้น กล่าวคือ การตัดด้วยมุมคมใบมีดที่ 30 องศา จะใช้พลังงานตัดจำเพาะน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเหมาะสมในการใช้ออกแบบมากที่สุด

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยพลังงานตัดจำเพาะสูงสุด (average max specific cutting energy, mJ/mm^2) เมื่อความเร็วในการตัดคงที่ (speed of loading rate) และมุมคมใบมีดมีการเปลี่ยนแปลง (knife bevel angle)

อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด	ห้วยบง ($\phi=25.75\pm 4.05$) มุมคมตัดของใบมีด			ระยอง-81 ($\phi=23.63\pm 4.12$) มุมคมตัดของใบมีด		
	30°	45°	60°	30°	45°	60°
20mm/min	62.25	77.48	103.40	37.08	57.14	68.96
SD	10.99	17.28	131.32	8.82	19.48	16.18

n=35

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยพลังงานตัดจำเพาะสูงสุด (average max specific cutting energy, mJ/mm^2) เมื่อมุมคมใบมีดคงที่ (knife bevel angle) และความเร็วในการตัดเปลี่ยนแปลง (speed of loading rate)

มุมคมใบมีด	ห้วยบง ($\phi=25.75\pm 4.05$) อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด (mm/min)				ระยอง-81 ($\phi=23.63\pm 4.12$) อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีด (mm/min)			
	20	40	60	100	20	40	60	100
30°	62.25	58.31	41.86	39.18	37.08	36.85	34.96	30.46
SD	10.99	13.15	10.39	11.20	8.82	12.08	12.47	11.05

ความเร็วในการตัด

ในการทำงานเดียวกันจากการทดสอบหาค่าพลังงานตัดจำเพาะสูงสุดที่ใช้ในการตัดลำต้นมันสำปะหลังทั้ง สองสายพันธุ์ พบว่าเมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานตัดจำเพาะสูงสุดจะมีแนวโน้มลดลง

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของการตัด

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของการตัดนั้น จะใช้หลักการ Multiple linear regressions ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพโดยการคำนวณในสมการที่ (3) เช่น มุมคมใบมีด และความเร็วในการตัด ส่วนค่าสมบัติทางกลในที่นี้คือ ค่าแรงเฉือนสูงสุด ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด และค่าพลังงานตัดจำเพาะ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 8 และตารางที่ 9 ตารางที่ 8 สมการสำหรับทำนายค่าสมบัติทางกลของการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง

Cutting Properties	Predictive	R2
Max. Cutting Force	$1.2495+0.00865K-0.0016S$	0.994
Max. Shear Strength	$4.5985+0.03085K-0.0059S$	0.994
Specific Cutting Energy	$43.3545+0.68575K-0.154S$	0.992

เมื่อ: K = มุมคมใบมีด (องศา) และ S = ความเร็วของหัวตัด (mm/min)

จากตารางที่ 5 ค่าสมบัติทางกลของการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงสามารถที่จะทำนาย ได้ ซึ่งดูจากค่า

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าสูง โดยสมการทำนายค่าแรงเฉือนสูงสุดและค่าความเค้นเฉือนสูงสุดมีค่าเท่ากับที่ $R^2=0.994$ รองลงมาคือค่าพลังงานตัดจำเพาะที่ $R^2=0.992$ นอกจากนั้นจาก สมการทั้งสามทำให้เราทราบว่า ค่าของมุมคมใบมีดเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติทางกลในการตัด รองลงมาคือค่าของความเร็วในการตัด

ตารางที่ 9 สมการสำหรับทำนายค่าสมบัติทางกลของการตัดลำต้นมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 81

Cutting Properties	Predictive	R ²
Max. Cutting Force	$0.6937+0.00285K-0.00065S$	0.992
Max. Shear Strength	$2.81595+0.01035K-0.00245S$	
Specific Cutting Energy	$23.10305+0.53135K-0.0436S$	0.998

เมื่อ: K = มุมคมใบมีด (องศา) และ S = ความเร็วของหัวตัด (mm/min)

ส่วนมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 81 ก็สามารถที่จะทำนายคุณสมบัติทางกลของการตัดได้เช่นกัน ซึ่งดูจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจที่สูง (R^2) โดยที่สมการทำนายค่าพลังงานตัดจำเพาะให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูงสุดที่ $R^2 = 0.998$ รองลงมาคือ ค่าแรงเฉือนสูงสุดและค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่มีค่าเท่ากับที่ $R^2 = 0.992$

4. สรุปผลการทดลอง

- ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะ คือ สายพันธุ์ มุมคมใบมีด และความเร็วในการตัด
- สมบัติทางกลในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงมีค่าสูงกว่าพันธุ์ระยอง-81 ในทุกๆ การทดลอง
- แรงเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะจะแปรผันตรงกับมุมคมใบมีด แต่จะแปรผกผันกับความเร็วในการตัด
- มุมคมใบมีด 30 องศาจะให้ค่าแรงเฉือน ความเค้นเฉือน และพลังงานตัดจำเพาะ น้อยกว่ามุมคมใบมีดที่ 45 และ 60 องศา จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการออกแบบ
- เมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดจะมีผลให้แรงเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัด จำเพาะมีแนวโน้มลดลง แต่ในการออกแบบจริงจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อหาความเร็วในการตัด ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2557). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2557, กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

- [2] โสภณ สินธุประมา ชาญ ธิรพร และอนุชิตทองกล้า (2526). เอกสารวิชาการมันสำปะหลังเล่มที่ 7, กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร
- [3] อุทัย คันโร (2529). อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกร และสัตว์ปีก, กรุงเทพฯ: ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] ณัฐพงษ์ ประภากร, พรธชา ลิบลับ และ วีรชัย อางหาญ (2551). การศึกษาคุณสมบัติกำลังเฉือนของเชื้อเพลิงชีวมวล, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9. เทคโนโลยีเพื่อการ เกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ยั่งยืน
- [5] Womac, A.R. Yu, M. Igathinathane, C. Ye, P. and Hayes, D. (2005). Shearing characteristics of biomass for size reduction 2005, paper presented in An ASAE meeting presentation 2005.
- [6] Persson, S. (1987). Mechanics of Cutting Plant Material, paper presented in ASAE Monograph 1987, St. Joseph, Michigan.
- [7] Chattopadhyay, P.S. and Pandey, K.P. (1998). Mechanical Properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation, *J. Agric. Eng. Res.*, 73: 199-206.
- [8] Adel, H., Gholamreza, H., Mohammad., H.K., Seyed, R.H. and Javad, K. (2012). Influence of knife bevel angle, rate of loading and stalk section on some engineering parameters of lilium stalk Iranica, *Journal of Energy & Environment*, 3(4):333-340.

